

Analisis trend suhu jangka masa panjang dan hubungannya dengan perkembangan kawasan bandar di Pulau Pinang

Tharshini Murthy¹, Izham Mohamad Yusoff¹, Nik Norliati Fitri Md Nor¹, Siti Masayu Rosliyah Abdul Rashid¹, Ismail Ahmad Abir²

¹Pusat Pengajian Pendidikan Jarak Jauh, Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia.

²Pusat Pengajian Sains Fizik, Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia.

Correspondence: Izham Mohamad Yusoff (email: izham@usm.my)

Received: 17 June 2023; Accepted: 22 September 2023; Published: 30 November 2023

Abstrak

Kawasan bandar memainkan peranan penting dalam perubahan trend suhu jangka masa panjang. Terdapat banyak kajian yang dijalankan di seluruh dunia berkaitan hubungan antara perubahan guna tanah dengan peningkatan suhu permukaan. Kajian ini juga bertujuan untuk mengenalpasti hubungan antara perkembangan bandar dan trend suhu jangka masa panjang di bahagian pulau, Pulau Pinang dengan menggunakan peta guna tanah digital yang diperolehi daripada Jabatan Pertanian Malaysia. Dalam kajian ini, perkembangan bandar Pulau Pinang dari tahun 1966 hingga 2015 telah dianalisis. Trend suhu jangka masa panjang juga dianalisis dengan menggunakan kaedah Mann-Kendall dan Sen's Slope. Imej satelit juga digunakan dalam analisis suhu sebagai sumber tambahan bagi menyokong hasil kajian. Akhirnya, hubungan antara perkembangan bandar dan juga suhu telah dikenal pasti dengan menggunakan analisis korelasi. Hasil kajian ini menunjukkan bahawa bahagian pulau, negeri Pulau Pinang telah mengalami proses urbanisasi yang pesat sejak dari tahun 1966 hingga 2015, di mana kadar bagi keseluruhan perkembangan bandar adalah 134.22%. Indeks suhu (T_{min} , T_{max} , dan T_{mean}) menunjukkan trend meningkat yang ketara pada kadar 0.19 °C/dekad, 1.2 °C/dekad dan 0.3 °C/dekad. T_{min} dan T_{mean} pula mempunyai korelasi yang signifikan dan kuat terhadap perkembangan kawasan bandar. Imej satelit yang dianalisis juga menunjukkan catatan suhu tinggi pada kawasan bandar. Hal ini menunjukkan bahawa terdapat hubungan yang kuat antara perkembangan bandar dengan kenaikan suhu di bahagian pulau, negeri Pulau Pinang. Namun, terdapat juga faktor lain yang mengakibatkan catatan suhu yang tinggi. Hal ini kerana, pada tahun 2008 hingga 2015 suhu tetap meningkat walaupun pembangunan semakin menurun. Oleh itu, dapat dikatakan bahawa terdapat juga faktor lain yang menyumbang kepada peningkatan suhu di bahagian pulau seperti perubahan iklim dunia.

Kata kunci: Perkembangan bandar, Pulau Pinang, satelit, suhu jangka masa panjang

Analysis of long-term temperature trend and its relationship with urban expansion in Penang Island

Abstract

Urban areas play an important role in changing long-term temperature trends. There are many studies conducted around the world related to land use change and the increase in surface temperature. This study also aims to identify the relationship between urban development and long-term temperature trends in the island part of Penang by using digital land use maps obtained from the Malaysian Department of Agriculture. In this study, the development of the city of Penang from 1966 to 2015 was analyzed. Then, long-term temperature trends were also analyzed using the Mann-Kendall and Sen's Slope methods. Satellite images are also used in temperature analysis as an additional source to support the study results. Finally, the relationship between urban development and temperature has been ascertained using correlation analysis. The results of this study show that the island part of the state of Penang has experienced a rapid urbanization process from 1966 to 2015, where the rate of overall urban development is 134.22%. Then, the temperature index (Tmin, Tmax, and Tmean) shows a significant increasing trend at the rate of 0.19 °C/decade, 1.2 °C/decade and 0.3 °C/decade. Then, Tmin and Tmean have a significant and strong correlation to the development of urban areas. Analyzed satellite images also show high temperatures recorded in urban areas. This shows that there is a strong relationship between urban development and temperature rise in the island, Penang state. However, there are also other factors that cause high temperature records. This is because, from 2008 to 2015 the temperature kept rising even though development was decreasing. Therefore, it can be said that there are other factors that contribute to the increase in temperature on the island such as climate change.

Keywords: Urban expansion, Penang Island, satellite, long term temperature

Pengenalan

Menurut laporan khas Panel Antara Kerajaan mengenai Perubahan Iklim (IPCC) mengenai Pemanasan Global 1.5 °C, pemanasan global ditakrifkan sebagai peningkatan purata global gabungan suhu permukaan darat dan permukaan laut dalam tempoh 30 tahun (IPCC, 2018). Pemanasan global yang didorong terutamanya oleh gas rumah hijau berasaskan karbon dioksida (CO₂), telah mencetuskan kebimbangan yang besar dalam kalangan saintis di seluruh dunia dan telah menarik perhatian setiap kerajaan di dunia (Wang et al., 2014). Hal ini kerana, kejadian cuaca ekstrem telah meningkat akibat pemanasan global, khususnya dari segi suhu ekstrem (Tan et al., 2020). Menurut Tangang et al. (2007), purata suhu di seluruh dunia telah meningkat sebanyak 0.3–0.6 °C pada abad sebelumnya. Jika suhu terus meningkat pada kadar semasa, ramalan untuk 2050 menunjukkan bahawa suhu global akan meningkat sebanyak 2 °C hingga 4 °C. Hal ini akan menyebabkan pencairan besar ais kutub utara dan selatan. Akibatnya, paras air akan meningkat, dan negara pulau dan bandar pantai tertentu akan ditenggelami air (Bronsele et al., 2018).

Terdapat pelbagai faktor yang menyebabkan peningkatan suhu di seluruh dunia. Salah satu faktornya ialah aktiviti manusia, terutamanya urbanisasi. Kebelakangan ini, ramai penyelidik telah mengkaji kesan aktiviti manusia seperti pembangunan pambandaran yang pesat terhadap iklim

sejak beberapa tahun ini. Hasil daripada kajian mereka menunjukkan bahawa pelbagai jenis tanah ditukar menjadi kawasan bandar akibat peningkatan populasi penduduk dan juga pembangunan ekonomi. Perubahan guna tanah dan hubungannya dengan pembangunan kawasan bandar mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap iklim dan cuaca tempatan sekiranya pembangunan ini tidak dirancang dan diurus dengan betul (Tan et al., 2010). Hal ini akan menyumbang kepada perubahan dalam trend suhu. Analisis data pemerhatian dari bandar dan kawasan luar bandar berdekatan mendedahkan bahawa pembandaran mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap trend suhu. Kekonduksian terma dan haba terpancar selalunya dicatatkan lebih tinggi di tempat metropolitan (Tan et al., 2010).

Dalam sejarah manusia, urbanisasi telah menjadi kunci utama kepada perubahan litupan guna tanah (Weng, 2001). Urbanisasi juga merupakan fenomena global yang tidak dapat dielakkan. Menurut Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu, kawasan bandar menyumbang kepada kira-kira 5% daripada tanah global dan lebih daripada 50% manusia tinggal di kawasan bandar. Kadar peratusan ini dijangka meningkat kepada 66% pada pertengahan abad kedua puluh satu (Chen et al., 2018). Menurut Samat et al. (2020), kawasan bandar berkembang ke kawasan pinggir bandar seiring dengan pertumbuhan penduduk dunia.

Negara Malaysia merupakan salah satu negara Asia Timur yang paling padat dengan urbanisasi dan salah satu kawasan metropolitan yang paling pesat berkembang di dunia. Pada tahun 1991, 50.4% penduduk tinggal di kawasan bandar, menjadikan Malaysia sebagai sebuah negara berbandar. Perkadaran penduduk yang tinggal di kawasan bandar telah meningkat secara berterusan dan mencapai 65% pada tahun 2010 serta 75% pada tahun 2020 (Samat et al., 2020). Pulau Pinang juga mengalami perkembangan pesat sejak beberapa dekad yang lalu. Ia juga merupakan pulau yang berpopulasi tinggi di negara ini, dengan anggaran penduduk 720,000 orang. Oleh itu, ianya padat dengan jalan raya, bangunan, konkrit, pangsapuri dan sejumlah besar kenderaan

Menurut Zhao et al. (2019), pembangunan urbanisasi bermula pada akhir abad kelapan belas di tanjung timur laut, kawasan tertua di George Town. Walaupun pada hakikatnya bandar itu memperoleh beberapa tanah yang boleh diakses melalui operasi penambakan di kawasan paya dan tebing lumpur selatan, pertumbuhan bandar bagaimana pun dibelenggu oleh kekurangan tanah. Seluruh pantai timur telah menjadi bandar pada akhir abad kedua puluh. Malaysia telah menyaksikan perubahan ketara dan drastik dalam pengembangan bandar sejak dua dekad yang lalu akibat daripada pertumbuhan dalam sektor perindustrian dan kediaman di Pulau Pinang. Tew et al. (2019), juga menyatakan dalam kajian mereka bahawa terdapat pembangunan pesat kawasan urbanisasi di Pulau Pinang sejak dari tahun 2004 hingga 2018. Ramai sarjana telah menumpukan perhatian kepada pembandaran dan pengaruhnya terhadap wilayah tempatan dalam beberapa dekad yang lalu. Jadi, kajian ini memfokuskan kepada hubungan antara trend suhu dan perkembangan kawasan bandar.

Metodologi dan kawasan kajian

Analisis perubahan guna tanah

Tanah merupakan sumber semula jadi penting yang digunakan untuk menanam tanaman, penempatan penduduk, membina empangan dan kawasan takungan air, membangunkan perniagaan, dan memelihara hutan, serta yang lain. Ciri guna tanah menentukan nilai atau potensi

ekonomi sesebuah wilayah (Balasubramanian, 2006). Dalam kajian ini, peta guna tanah Pulau Pinang bagi enam tahun digunakan iaitu 1966, 1974, 1984, 1997, 2008 dan 2015. Peta guna tanah Pulau Pinang digunakan untuk mengesan perubahan kelas guna tanah sejak tahun 1966 sehingga 2015. Terdapat empat guna tanah utama yang dikenal pasti dalam kajian ini, iaitu kawasan binaan, pertanian, tanah hutan dan badan air. Kawasan binaan digunakan sebagai penunjuk pambandaran dalam kajian ini. Jadual 1 menunjukkan senarai empat kelas guna tanah utama yang digunakan dalam kajian ini. Peta guna tanah bagi tempoh enam tahun telah dikumpul daripada Jabatan Pertanian Malaysia. Bagi mengenalpasti perubahan guna tanah di Pulau Pinang dari tahun 1966 hingga 2015, peta telah didigitasikan menggunakan perisian ArcMap (GIS), versi 10.4.1. Pengekodan warna juga dilakukan pada peta guna tanah mengikut piawaian yang ditetapkan oleh Plan Malaysia. Manual yang digunakan ialah versi 2.0. Keluasan setiap kelas guna tanah juga telah dikira dalam perisian ArcMap.

Jadual 1. Kelas guna tanah

Kelas guna tanah	Penerangan
Binaan	Bandar, kawasan kediaman, kawasan perindustrian, institusi dan kemudahan awam
Pertanian	Tanaman, akuakultur, penternakan, padang rumput dan kebun campur
Hutan	Tanah pamah dan hutan paya
Badan air	Sumber air: Empangan, sungai dan kolam

Kaedah Mann-Kendall dan Sen's Slope

Bagi mengenalpasti trend, ujian Mann-Kendall (MK) bukan parametrik telah digunakan, manakala perubahan magnitud dikira menggunakan ujian Sen's slope. MK telah kerap digunakan dalam analisis ekstrem suhu jangka panjang di seluruh dunia, terutamanya apabila digabungkan dengan Sen's slope (Tan et al., 2020). Kaedah ini juga biasa digunakan dalam analisis siri masa hidrologi dan klimatologi.

Ujian Mann-Kendall telah dicadangkan oleh Pertubuhan Meteorologi Sedunia (WMO) untuk menganalisis corak temporal dalam siri masa data alam sekitar. Kaedah ini digunakan untuk mencari corak data jangka panjang yang signifikan secara statistik.

Analisis korelasi

Bagi mengenal pasti hubungan antara guna tanah dan trend suhu, 'Pearson's Product Moment Correlation Analysis' telah digunakan dalam kajian ini. Analisis Korelasi ini merupakan kaedah statistik untuk menentukan kekuatan hubungan antara dua pembolehubah kuantitatif, dengan perkaitan linear antara +1 hingga -1. Akibatnya, dengan data korelasi, perubahan magnitud pada salah satu pembolehubah dikaitkan dengan perubahan magnitud pembolehubah lain, sama ada dalam arah yang sama atau dalam arah yang bertentangan (Schober & Schwarte, 2018). Dalam erti kata lain, nilai yang lebih besar bagi satu pembolehubah dinyatakan sebagai korelasi positif manakala nilainya lebih rendah menunjukkan korelasi negatif. Dalam kajian ini, analisis korelasi diuji bagi keempat kelas guna tanah (kawasan binaan, pertanian, hutan dan badan air) dengan data iklim seperti hujan tahunan, purata suhu minimum (T_{min}), purata suhu purata (T_{mean}), dan purata suhu maksimum (T_{max}). Keputusan untuk analisis korelasi ditunjukkan dalam Jadual 5. Jadual 2 pula menunjukkan nilai dan hubungan bagi analisis korelasi.

Jadual 2. Nilai dan hubungan analisis korelasi

Nilai korelasi	Kekuatan/hubungan
.90 to 1.00 (-.90 to - 1.00)	Sempurna
.70 to .90 (-.70 to -.90)	Sangat kuat
.50 to .70 (-.50 to -.70)	Kuat
.30 to .50 (-.30 to -.50)	Sederhana
.00 to .30 (.00 to -.30)	Lemah

Pengekstrakan Suhu Permukaan Tanah (LST)

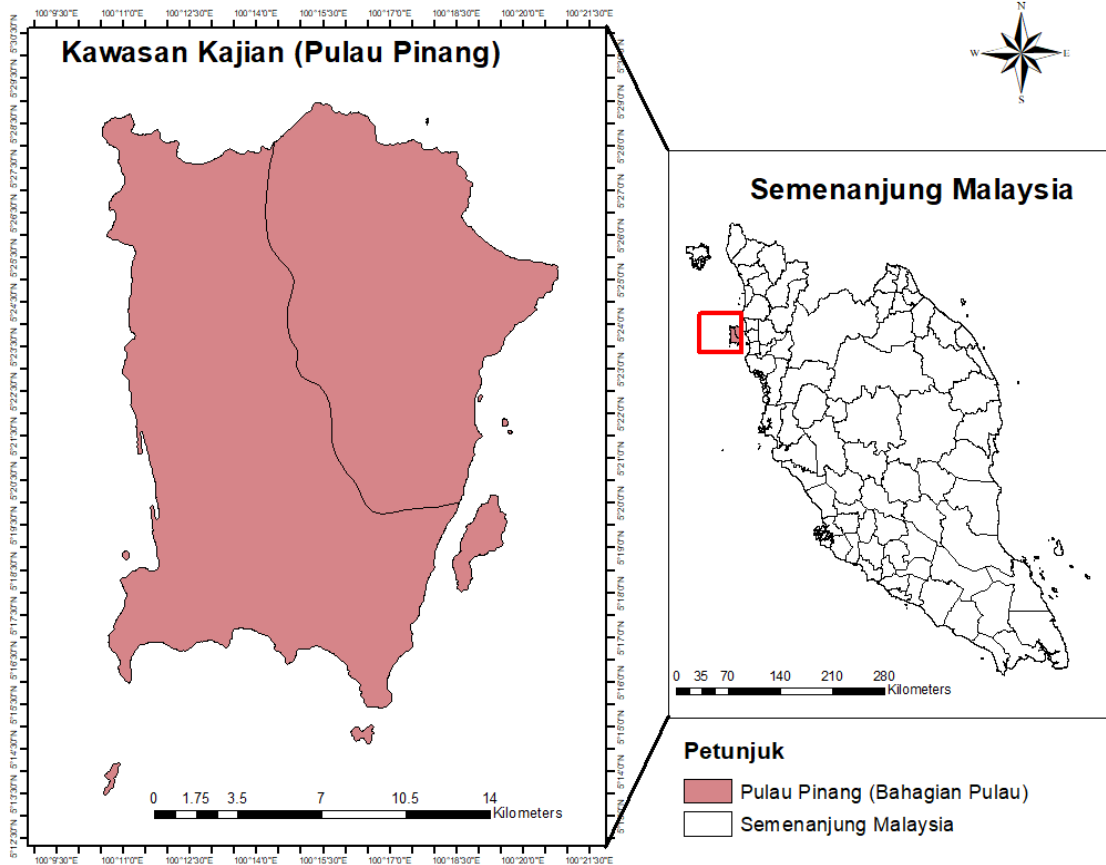
Program Landsat merupakan usaha terpanjang untuk pengimejan bumi yang masih berjalan lancar sehingga sekarang sejak tahun 1972. Imej satelit Landsat digunakan secara meluas dalam kebanyakan bidang seperti pertanian, perhutanan, alam sekitar, hidrologi dan geologi. Salah satu sebab utama ianya begitu popular kerana ianya membolehkan orang ramai menggunakannya secara percuma. Imej yang dirakam oleh satelit Landsat boleh dilihat dan dimuat turun secara percuma melalui aplikasi *Earth Explorer* yang dibangunkan oleh United States Geological Survey (USGS) (Tew et al., 2019). Oleh itu, imej satelit yang digunakan dalam kajian ini untuk mengekstrak suhu permukaan tanah Pulau Pinang telah diperolehi melalui laman USGS. Imej satelit bagi tahun 1984 sehingga 1997 telah diperolehi daripada Landsat 5 dan tahun 2008 pula daripada Landsat 7. Manakala imej satelit 2015 pula diperolehi daripada Landsat 8. Rajah 8 menunjukkan ketiga imej yang dimuat turun dan diproses menggunakan ArcGIS

Kawasan kajian

Pulau Pinang terletak di bahagian utara negara Malaysia, iaitu terletak antara latitud 5°12'N dan 5°30'N, dan longitud 100°09'E dan 100°26'E. George Town merupakan ibu negeri Pulau Pinang dan juga bandar kedua terbesar di Malaysia, terletak di bahagian timur Pulau Pinang. Bahagian pulau, Pulau Pinang merupakan pulau yang diduduki paling ramai penduduk di Malaysia, dengan anggaran penduduk seramai 720,000 orang. Pentadbiran daerah Pulau Pinang terbahagi kepada dua bahagian: Majlis Perbandaran Seberang Perai (MPSP) dan Majlis Bandaraya Pulau Pinang (MBPP) (Hanafiah, 2019).

Pulau Pinang merupakan pulau yang beriklim khatulistiwa, di mana ianya panas dan lembap sepanjang tahun. Purata suhu tahunan adalah antara 27 dan 30 °C. Kelembapan relatif tahunan adalah antara 70 hingga 90 peratus. Purata taburan hujan tahunan adalah sekitar 267 cm, manakala jumlah hujan tahunan kemungkinan boleh mencapai 624 cm (Tan et al., 2011). Musim tengkujuh Timur Laut, musim tengkujuh Barat Daya, dan sistem laut dan angin di sekeliling semuanya memberi kesan kepada sistem iklim Pulau Pinang (Tew et al., 2019).

Georgetown juga tersenarai sebagai Tapak Warisan Dunia UNESCO. Pengiktirafan ini membantu meningkatkan jumlah pelancong ke Pulau Pinang dan menambah baik pelancongan di seluruh Malaysia (Tan et al., 2011). Jadi, negeri ini padat dari segi pembangunan, penduduk dan perbandaran, menjadikannya ideal untuk penyelidikan tentang hubungan antara trend suhu jangka panjang dan perbandaran. Kawasan kajian penyelidikan ini ditunjukkan dalam Rajah 1.



Rajah 1. Kawasan kajian

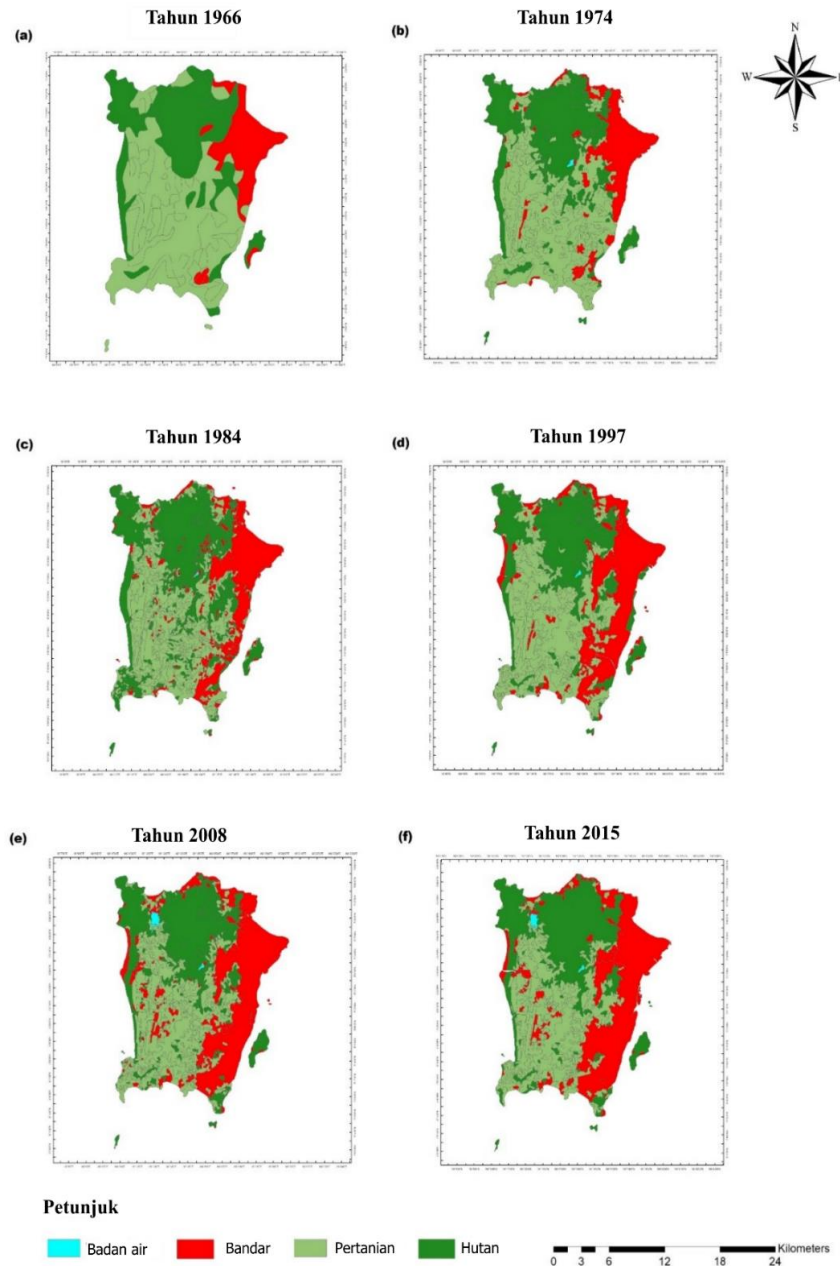
Hasil dan perbincangan

Kadar perkembangan kawasan bandar di bahagian pula di Pulau Pinang

Bagi menilai kadar perkembangan kawasan bandar di Pulau Pinang, perubahan guna tanah telah dikenalpasti dengan menggunakan peta guna tanah yang didigitasi bagi tempoh enam tahun (1966, 1974, 1984, 1997, 2008 dan 2015). Rajah 2 menunjukkan peta guna tanah Pulau Pinang dari tahun 1966 hingga 2015. Jadual 3 menunjukkan keluasan setiap guna tanah. Rajah 3 pula menunjukkan peratusan setiap guna tanah di Pulau Pinang.

Berdasarkan Rajah 2, dapat diperhatikan bahawa kawasan utara dan barat laut bahagian pulau kebanyakannya dilitupi oleh kawasan hutan. Hutan barat laut sebelum ini dikenali sebagai Hutan Simpan Pantai Acheh (HSPA), dan kini diisytiharkan sebagai Taman Negara Pulau Pinang (TNPP) pada April 2003 oleh Perdana Menteri Malaysia ke-5 Tun Abdullah Ahmad Badawi (Hong et al., 2013). Seterusnya, kawasan hutan di bahagian utara Pulau Pinang juga merupakan kawasan terpelihara yang terdiri daripada Hutan Simpan Teluk Bahang, Hutan Simpan Bukit Kerajaan, Hutan Simpan Laksamana, Hutan Simpan Penara, dan Hutan Simpan Tanah Tinggi (Liew, 2020). Sejak kawasan hutan diisytiharkan sebagai hutan simpanan, tiada perubahan besar yang berlaku pada kawasan hutan di bahagian utara dan barat laut sejak dari tahun 1966 hingga 2015, walaupun pembangunan pesat berlaku di Pulau Pinang. Merujuk Jadual 3, dapat dilihat secara jelas bahawa

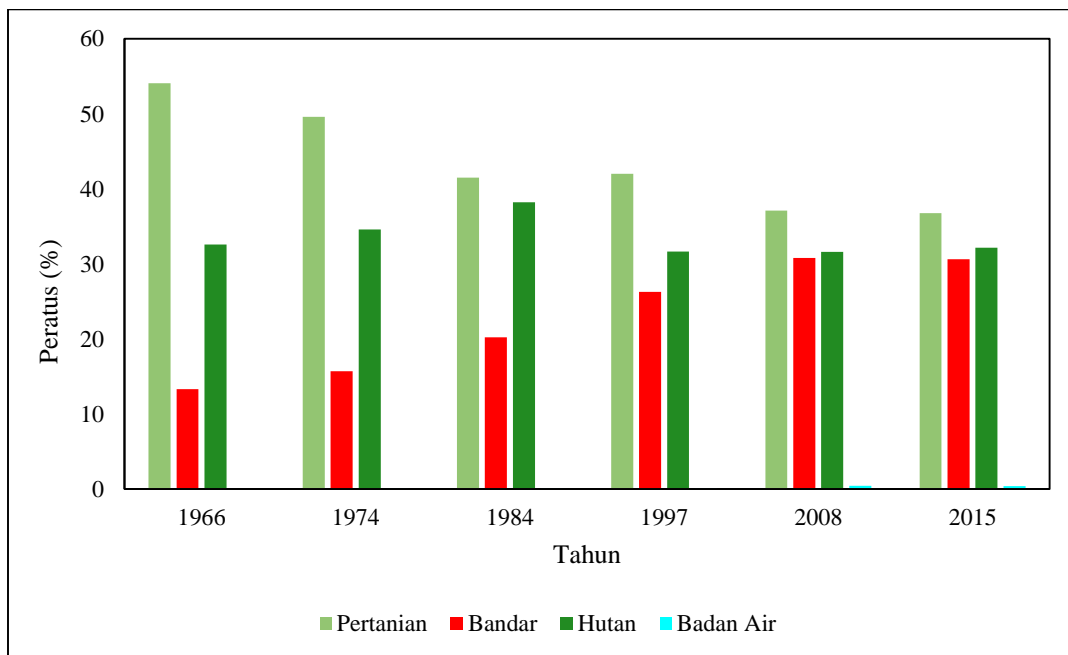
pertambahan kawasan hutan, bermula sejak tahun 1966 iaitu 97.81 km² (32.59%) kepada 113.34 km² (38.20%) pada tahun 1984 dan berkurangan sedikit pada tahun 1997 kepada 96.64 km² (31.65%). Pada tahun 2008, keluasan tanah hutan meningkat lagi menjadi 97.12 km² (31.62%) dan pada tahun 2015 meningkat menjadi 98.67 km² (32.17%). Luas kawasan hutan berkurang sebanyak 13.08% dari tahun 1984 hingga 2015. Mengikut Jadual 3, kadar keseluruhan luas tanah hutan menunjukkan pengurangan dari tahun 1966 (31.59%) kepada 2015 (32.17%). Kok Chooi Tan et al. (2010) juga melaporkan bahawa kawasan hutan di Pulau Pinang berkurangan sebanyak 16.89% dari tahun 1999 sehingga 2007. Menurut beliau juga, terdapat peralihan yang ketara dalam kawasan hutan. Sepanjang 18 tahun, dari 1991 hingga 2019, kawasan hutan berkurangan sebanyak 25.76 peratus.



Rajah 2. Peta guna tanah bagi bahagian pulau, Pulau Pinang dari tahun 1966 hingga 2015

Berdasarkan peta guna tanah dalam Rajah 2, terdapat dua badan air utama iaitu Empangan Teluk Bahang, yang terletak di bahagian barat laut Pulau dan Empangan Air Itam. Empangan Air Itam dibuka pada tahun 1962, jadi ia boleh dilihat dalam peta guna tanah (Rajah 1) dari tahun 1974 (Penang Global Tourism, 2019). Bagaimanapun, Empangan Teluk Bahang dibuka secara rasmi pada tahun 1999, jadi ia hanya boleh dilihat mulai tahun 2008 (PBA, 2020). Luas kawasan badan air berkembang daripada 0.00 km² pada tahun 1966 kepada 1.24 km² pada tahun 2015. Kok Chooi Tan et al (2010) juga melaporkan bahawa kawasan badan air sedikit meningkat dari tahun 1999 hingga 2007.

Kawasan pertanian kebanyakannya meliputi bahagian tengah dan barat daya Pulau Pinang. Terdapat ladang kelapa, getah dan durian secara besar-besaran. Kawasan pertanian bukan sahaja tertumpu kepada perladangan tetapi juga dalam bidang akuakultur. Aktiviti akuakultur kebanyakannya dijalankan di bahagian barat pulau. Pada tahun 1966, luas kawasan pertanian meliputi lebih daripada separuh keluasan bahagian pulau, Pulau Pinang iaitu 162.39 km². Keluasan tanah pertanian berkurangan dari tahun 1966 hingga 1984 dan meningkat sedikit lagi pada tahun 1997. Namun, ia terus berkurangan pada tahun 2008 (114.02 km²) dan 2015 (112.85 km²). Dalam tempoh 49 tahun, tanah pertanian berkurangan sebanyak 30.5%. Pengurangan guna tanah ini terutamanya berlaku di bahagian tenggara Pulau Pinang. Tew et al. (2019) melaporkan bahawa tanah pertanian telah dikurangkan, kebanyakannya di wilayah berhampiran laluan jambatan kedua.



Rajah 3. Peratusan luas guna tanah dari tahun 1966 hingga 2015

Jadual 3. Luas guna tanah di bahagian pulau, Pulau Pinang dari tahun 1966 hingga 2015

Kelas guna tanah	Luas guna tanah mengikut tahun (km ²)					
	1966	1974	1984	1997	2008	2015
Pertanian	162.39	148.44	123.16	128.29	114.02	112.85
Binaan	39.95	47.04	60.04	80.22	94.59	93.57
Hutan	97.81	103.53	113.34	96.64	97.12	98.67
Badan air	0.00	0.31	0.14	0.21	1.38	1.24

Kawasan binaan di Pulau Pinang menunjukkan perkembangan pesat dalam tempoh 49 tahun. Luas kawasan binaan meningkat daripada 39.95 km² (13.31%) pada 1966 kepada 93.57 km² (30.66%) pada 2015, dengan purata perkembangan 1.09 km² setahun. Berdasarkan Rajah 2, kawasan binaan mengalami perkembangan pesat pada bahagian timur pulau. Pada tahun 1966, tanah binaan kebanyakannya meliputi bahagian timur laut pulau, terutamanya di kawasan Georgetown. Hal ini demikian kerana, Georgetown berfungsi sebagai penghubung antara ekonomi tempatan dan global selama lebih dari 500 tahun, dan ia merupakan hab komersial antara timur dan barat. Dengan kedatangan kuasa kolonial, bandar George Town, yang dibina sepenuhnya dengan pembangunan ekonomi era penjajah dan pengumpulan kekayaan, telah berkembang secara progresif menjadi hab komersial serantau. Jadi, pemandaran pada tahun 1966 kebanyakannya tertumpu di bahagian timur laut Pulau Pinang (Zhao et al., 2019).

Keluasan tanah binaan pada tahun 1966 adalah kira-kira 39.95 km², dan ia terus meningkat sehingga ke tahun 2008 dan berkurangan sedikit pada tahun 2015 (93.57 km²). Terdapat pengurangan dalam kadar pengembangan kawasan binaan dari 2008 hingga 2015. Hal ini kemungkinan berkaitan dengan Georgetown, ibu kota Pulau Pinang, yang ditetapkan sebagai Tapak Warisan Dunia pada 2008. Akreditasi ini meningkatkan pelancongan di negeri ini, menyebabkan perancangan semasa dan pembangunan ditumpukan sepenuhnya kepada pembangunan infrastruktur bagi memenuhi objektif 2030 untuk menjadi sebuah bandar yang mampan (Tew et al., 2019). Oleh itu, Pulau Pinang sering dibanjiri pelancong, yang terkenal dengan perniagaan pelancongan yang besar (James Clark, 2018). Kadar keseluruhan perkembangan luas kawasan binaan pulau (Pulau Pinang) dari 1966 hingga 2015 ialah 134.22%. Kok Chooi Tan et al. (2010) juga melaporkan dalam penyelidikan mereka bahawa jelas bahawa terdapat peralihan yang ketara di kawasan bandar (kawasan yang sangat maju), yang telah meningkat sebanyak 109.03% dalam tempoh lapan tahun yang lalu iaitu dari tahun 1999 hingga 2007.

Berdasarkan Rajah 2, kawasan binaan berkembang pesat sehingga menutup bahagian timur dan tenggara Pulau Pinang dari tahun 1966 hingga 2015. Peluasan drastik kawasan binaan mungkin disebabkan oleh pembangunan ekonomi yang pesat di pulau itu. Menurut penyelidikan, kawasan binaan telah berkembang di atas tanah pertanian, terutamanya di bahagian tenggara. Mohammed et al. (2015), juga melaporkan bahawa 20% daripada tanah pertanian Pulau Pinang telah diubah kepada zon perindustrian dan kediaman. Selain itu, antara tahun 2008 sehingga 2015, kawasan binaan di bahagian utara Pulau Pinang meningkat pada kadar yang sedikit. Pembinaan kompleks kediaman mewah di Teluk Batu Feringghi kemungkinan mencetuskan kecenderungan ini. Pembangunan penempatan mewah itu menjadi sebahagian daripada strategi pertumbuhan pintar kerajaan tempatan untuk menghebahkan Pulau Pinang sebagai destinasi persaraan yang diingini dengan pemandangan semula jadi berhampiran bandar (Tew et al., 2019).

Pulau Pinang juga telah beralih daripada kawasan perumahan kepada kawasan perindustrian akibat kemasukan para pelabur. Sebagai contoh, Bayan Lepas telah menjadi lokasi yang paling terkenal untuk beberapa industri. Bayan Lepas memiliki lapangan terbang antarabangsa. Lapangan terbang yang terletak di pulau kecil ini dihubungkan dengan beberapa negara. Perkembangan bandar Pulau Pinang terutamanya adalah perindustrian, seperti yang dilihat oleh kelulusan 169 projek pada 2014 (Tew et al., 2019). Oleh sebab itu, pelabur antarabangsa mula mewujudkan kemudahan di Pulau Pinang, mengubah bandar itu menjadi hab pengeluaran elektronik di Malaysia. Peluang pekerjaan juga meningkat berikutan urbanisasi yang pesat dan pertumbuhan pasaran di Pulau Pinang. Oleh itu, penghijrahan buruh ke bahagian pulau meningkat. Akibatnya, pemandaran di Pulau Pinang adalah perlu untuk meneruskan pertumbuhan ekonomi

Malaysia. Kafy et al. (2021), juga berpendapat bahawa migrasi dari luar bandar ke kawasan bandar, peningkatan populasi penduduk dan pembangunan infrastruktur menjadi faktor pendorong kepada perkembangan kawasan bandar yang pesat. Samat et al. (2020) meramalkan bahawa kawasan binaan di Pulau Pinang akan terus berkembang ke arah bahagian utara dan tengah Georgetown. Hal ini bermakna kawasan binaan akan terus berkembang berbanding penggunaan tanah lain, terutamanya kawasan pertanian dan kawasan hutan di Pulau Pinang. Kenyataan ini dapat dibuktikan lagi dengan dapatan yang ditunjukkan oleh Akomolafe dan Rosazlina (2022), di mana luas kawasan pertanian berkurang kepada 6954.51 hektar berbanding kawasan binaan (8905.43 hektar) pada tahun 2021.

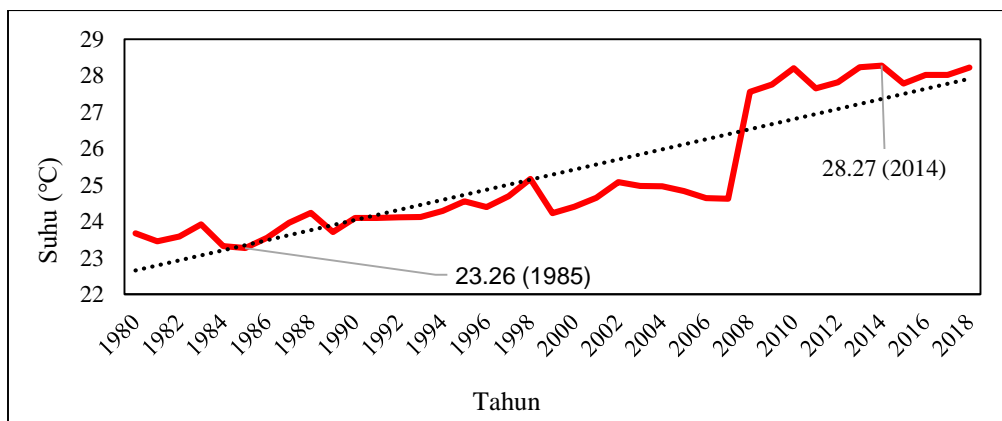
Trend suhu pada bahagian pulau, Pulau Pinang sejak tahun 1980 sehingga 2018

Analisis data suhu adalah penting dalam kajian ini untuk mengetahui trend suhu jangka masa panjang di Pulau Pinang. Oleh itu, arah aliran suhu jangka panjang di Pulau Pinang dikaji dari tahun 1980 hingga 2018. Data yang digunakan untuk mengkaji arah aliran suhu ialah data purata hujan tahunan, data purata suhu minimum (Tmin), data purata suhu maksimum (Tmax), dan purata suhu min (Tmean). Kesemua data ini diperolehi daripada Stesen Cuaca Bayan Lepas. Sama seperti kawasan tropika lain, Pulau Pinang juga panas sepanjang tahun dan mempunyai perubahan yang kecil dalam julat suhu tahunan (Tan et al., 2022). Tambahan pula, kajian ini juga menggunakan imej satelit yang memaparkan data suhu permukaan tanah bagi memperkukuhkan dan bagi mendapatkan hasil kajian yang tepat. Data hujan tahunan digunakan dalam kajian ini kerana suhu dan kerpasan adalah ukuran utama yang digunakan untuk menggambarkan iklim (Brook, 2015). Jadi, adalah penting untuk menganalisis data hujan tahunan untuk analisis keadaan iklim yang lebih baik. Jadual 4 menunjukkan trend hujan, Tmax, Tmin, Tmean dari tahun 1980 hingga 2018. Menurut kajian yang dijalankan oleh Ahmad et al. (2006), bahagian pulau (Pulau Pinang), adalah beriklim tropika dengan purata suhu harian kira-kira 27°C dan min suhu maksimum dan minimum harian ialah sebanyak 31°C dan 23.5 °C. Jadi, sebagai pulau tropika, Pulau Pinang sentiasa panas sepanjang tahun. Rajah 4 menunjukkan purata Tmin Pulau Pinang dari tahun 1980 hingga 2018. Tmin meningkat daripada 23.67 °C pada tahun 1980 kepada 28.23 °C (2018). Purata Tmin tertinggi dicatatkan pada tahun 2014 dengan 28.27 °C. Manakala purata Tmin terendah dicatatkan pada tahun 1985 iaitu 23.26 °C. Peningkatan drastik dalam purata Tmin telah dikesan dari tahun 2007 (24.62 °C) hingga 2008 (27.55 °C), yang meningkat sebanyak 2.93 °C. Sebaliknya, suhu maksimum (Tmax) juga menunjukkan trend meningkat yang ketara. Menurut Rajah 5, nilai purata Tmax tertinggi dicatatkan pada tahun 2002 (32.44 °C) dan terendah pada tahun 1984 iaitu kira-kira 30.74 °C. Tmean meningkat dengan ketara dari 1980 hingga 2018. Pada tahun 1980, purata Tmean ialah 26.96 °C dan ia meningkat kira-kira 5.28 °C dalam tempoh 38 tahun kepada 32.24 °C pada 2018. Hujan tahunan juga menunjukkan trend peningkatan dari tahun 1980 hingga 2018 iaitu peningkatan 1 mm setahun (10mm/dekad). Jumlah hujan tahunan pada tahun 1980 ialah 2765.8 mm dan 2478 mm pada tahun 2018. Pemendakan tahunan terendah dicatatkan pada tahun 1997 iaitu 1516.8 mm manakala tertinggi pada tahun 1999 (3231.6 mm).

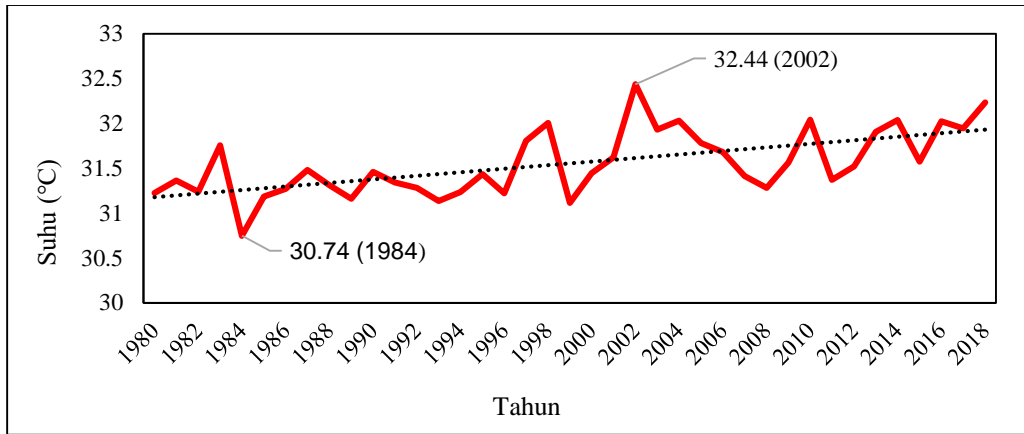
Jadi, aliran suhu keseluruhan (Tmin, Tmax dan Tmean) bagi Pulau Pinang menunjukkan trend peningkatan yang ketara pada tahap keertian 0.001 dari tahun 1980 hingga 2018 kecuali hujan yang menunjukkan aliran meningkat tetapi tidak ketara. Tmax, Tmin dan Tmean meningkat dengan ketara pada kadar 0.19 °C/dekad, 1.2 °C/dekad dan 0.3 °C/dekad, masing-masing. Berbanding dengan Tmax (0.19 °C/dekad) dan Tmean (0.3 °C/dekad), Tmin menunjukkan anjakan magnitud 1.2 °C/dekad. Tan et al., 2020 juga melaporkan bahawa sebagai bandar utama Semenanjung Malaysia, Pulau Pinang mempunyai trend meningkat yang ketara dalam TNmean,

TXmean, dan TMmean dengan magnitud perubahan yang lebih besar dan ini mungkin disebabkan oleh kesan pulau haba bandar. Fenomena ini berlaku antara jam 7 pagi hingga 10 malam di Pulau Pinang terutamanya di kawasan yang sesak dan juga pada waktu puncak (Hanafiah, 2019). Terdapat pelbagai faktor yang menyebabkan fenomena ini seperti perindustrian, pembangunan pesat, pertambahan penduduk dan kenderaan. Tan et al. (2020) juga melaporkan bahawa kebolehubahan iklim tempatan juga salah satu sebab pulau haba bandar.

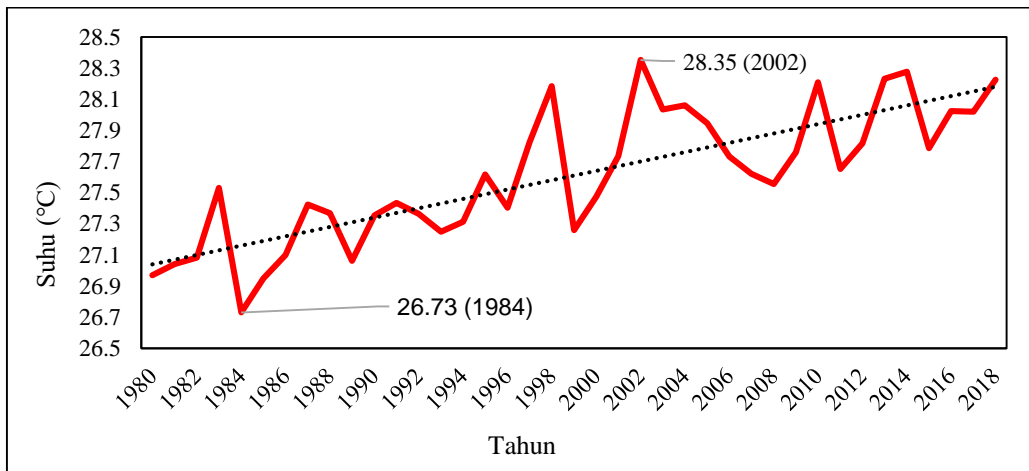
Manakala nilai terendah bagi purata indeks suhu (T_{min} , T_{max} dan T_{mean}), terutamanya direkodkan pada tahun 1984 dan 1985. Suhu terendah dicatatkan pada tahun 1980-an kerana La Nina. Kenyataan ini juga dinyatakan oleh Tan et al (2020) dalam kajian mereka, di mana indeks suhu ekstrem mencapai mata terendah pada tahun 1980-an, kebanyakannya semasa fenomena La Nina. Mahmud (2006) melaporkan bahawa terdapat hujan lebat yang direkodkan di Semenanjung Malaysia pada tahun 1999 juga kerana La Nina. Oleh itu, jumlah hujan tertinggi juga dicatatkan pada tahun 1999, dan boleh disimpulkan bahawa La Niña menjadi faktor kepada situasi ini. Sebaliknya El-Niño juga memberi kesan kepada suhu Malaysia. Menurut Tangang et al. (2007), El Niño–Southern Oscillation (ENSO) mempunyai impak yang besar terhadap kebolehubahan iklim Malaysia. Terdapat peningkatan pada purata suhu T_{min} , purata suhu T_{max} dan purata suhu T_{mean} pada tahun 1998 akibat fenomena El Nino iaitu 25.16 °C, 32.01 °C, dan 28.18 °C masing-masing. Tan et al. (2020) juga melaporkan dalam kajian mereka pada tahun 1998, terutamanya semasa fenomena El Niño yang sangat kuat, terdapat nilai TXmean, TNmean, dan TMmean yang agak tinggi dicatatkan di Semenanjung Malaysia dan ini menunjukkan bahawa El Niño mempunyai kesan yang besar terhadap pemanasan Malaysia. Kemarau dan Eboy (2021), juga mengatakan bahawa ENSO memberikan kesan yang ketara terhadap suhu tempatan terutamanya pada kawasan bandar. Suhu permukaan tanah yang dianalisis melalui imej satelit yang dirakam pada tahun 1984-1997, 2008 dan 2015 juga menunjukkan trend peningkatan suhu. Berdasarkan Rajah 8, suhu maksimum yang direkodkan pada tahun 1984 hingga 1997 ialah 21-27 °C dan darjah suhu meningkat kepada 36-41 °C pada tahun 2015. Suhu minimum juga menunjukkan peningkatan yang ketara di mana ianya meningkat dari 8.8-14 °C (1984-1997) kepada 14-15 °C pada tahun 2015. Jadi, trend suhu bagi Pulau Pinang menunjukkan trend meningkat yang ketara dari tahun 1980 hingga 2018. Hujan juga menunjukkan trend meningkat dari tahun 1980 hingga 2018 tetapi tidak ketara. Namun, pada tahun 2008, suhu maksimum dan minimum menunjukkan penurunan berbanding tempoh tahun 1984-1997. Mengikut kajian-kajian lepas, terdapat pelbagai faktor yang boleh mempengaruhi trend suhu, seperti pembangunan pesat, penambahan bilangan kenderaan, populasi dan juga El Niño dan La Niña.



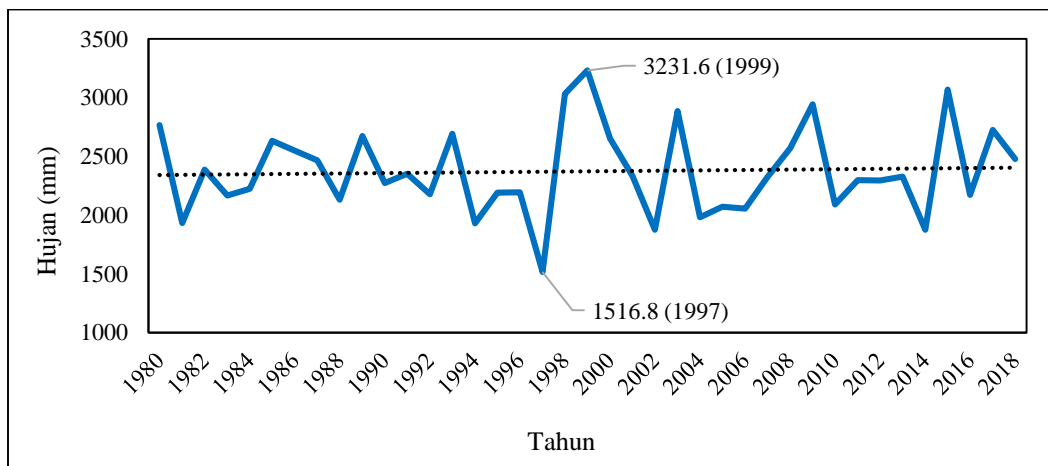
Rajah 4. Purata suhu minimum (T_{min}) tahunan bagi pulau, Pulau Pinang dari tahun 1980 hingga 2018



Rajah 5. Purata suhu maksimum (Tmax) tahunan pulau, Pulau Pinang dari tahun 1980 hingga 2018



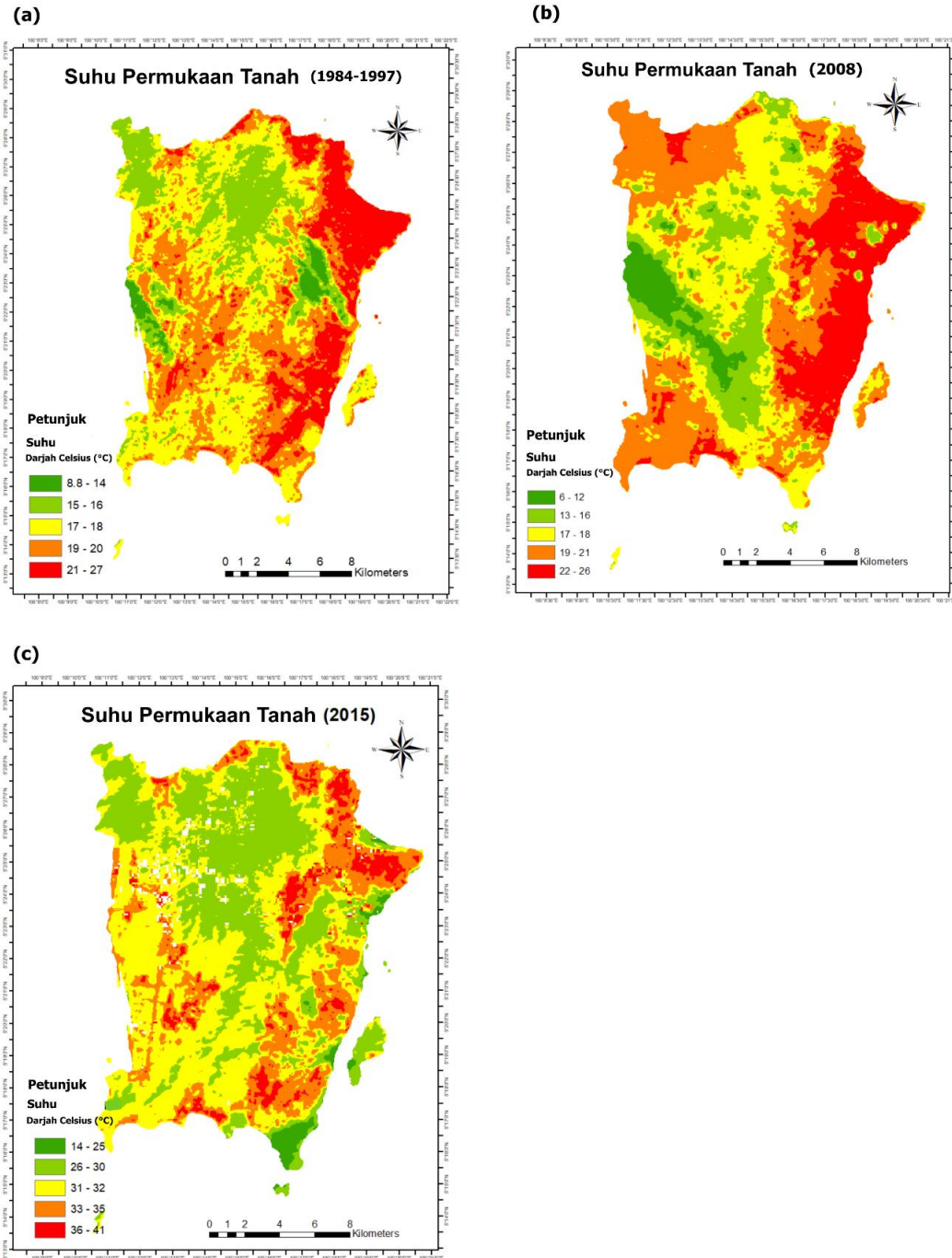
Rajah 6. Purata suhu mean (Tmean) tahunan pulau, Pulau Pinang dari tahun 1980 hingga 2018



Rajah 7. Purata hujan tahunan pulau, Pulau Pinang dari tahun 1980 hingga 2018

Jadual 4. Trend hujan, suhu Tmax, Tmin dan Tmean

	Ujian Z	Signifikan	Q
Hujan	0.15		1.095
Tmax	3.90	***	0.019
Tmin	7.14	***	0.120
Tmean	5.44	***	0.030



Rajah 8. Suhu permukaan tanah Pulau Pinang yang dianalisis pada tahun (a) 1984 hingga 1997; (b) Suhu permukaan tanah 2008 dan (c) Suhu permukaan tanah 2015

Hubungan antara suhu dengan perkembangan kawasan bandar di bahagian pulau, Pulau Pinang

Kawasan binaan bagi Pulau Pinang menunjukkan perkembangan pesat dari tahun 1966 hingga 2015. Kadar keseluruhan pengembangan bandar bagi Pulau Pinang dari tahun 1966 hingga 2015 adalah kira-kira 134.22%. Suhu Pulau Pinang juga menunjukkan trend peningkatan yang ketara dari tahun 1980 hingga 2018. Berdasarkan kajian lepas, pemandaran merupakan salah satu faktor peningkatan suhu tempatan. Justeru, analisis korelasi telah dijalankan untuk mengenal pasti hubungan antara suhu dan pengembangan bandar. Jadual 5 menunjukkan hasil analisis korelasi bagi data guna tanah dan iklim (curahan hujan, T_{min} , T_{max} , dan T_{mean}).

Pemandaran yang pesat di Pulau Pinang menyebabkan peningkatan beberapa sektor ekonomi terutamanya sektor perindustrian. Justeru, dalam kajian-kajian lepas ada dinyatakan bahawa Pulau Pinang telah beralih daripada kawasan perumahan kepada kawasan perindustrian. Hal ini kerana, Pulau Pinang merupakan ibu kota kepada industri pembuatan Malaysia, serta hab pembangunan wilayah itu. Pada 2007, Pulau Pinang mempunyai 200 perniagaan multinasional dengan aktiviti berskala besar, menjadikannya pusat pertumbuhan kedua terbesar di Malaysia selepas Lembah Klang. Pembuatan produk elektrik dan elektronik telah menjadi sumber dinamik selama 25 tahun sebelumnya, mengekalkan pertumbuhan KDNK Pulau Pinang melebihi purata nasional, pada lebih 7% antara 1970 dan 2005 (OECD, 2011). Sejak awal abad kesembilan belas, Pulau Pinang telah menjadi lokasi yang strategik dan pusat komersial antarabangsa yang terkenal (Tan et al., 2010). Sebagai contoh, Bayan Lepas telah menjadi kawasan perindustrian yang paling terkenal di Pulau Pinang. Bayan Lepas mempunyai lapangan terbang antarabangsa, yang membuatkan pelabur antarabangsa mula mewujudkan kemudahan di Pulau Pinang, mengubah bandar itu menjadi hab pengeluaran elektronik di Malaysia. Tambahan pula, ia membolehkan pengangkutan import dan eksport yang cekap dan sesuai untuk perdagangan global (Tan et al., 2010). Pertambahan kawasan perindustrian juga menyebabkan bilangan kenderaan bertambah.

Berdasarkan laporan Jabatan Pengangkutan Jalan Malaysia, jumlah kenderaan berdaftar di Pulau Pinang meningkat 18.42 peratus daripada 1,897,752 pada 2008 kepada 2,326,216 pada 2012 (Jamil et al., 2019). Pertambahan di kawasan perindustrian terutamanya kereta dan bilangan kenderaan meningkatkan kadar bahan pencemar udara seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂). Oleh itu, hal ini menjejaskan suhu Pulau Pinang. Mengikut analisis korelasi antara kawasan bandar dan indeks suhu (T_{min} dan T_{mean}) menunjukkan penentuan pekali kuat yang signifikan dengan nilai r , 0.91 dan 0.86 dengan tahap keyakinan 95%. Ini bermakna, kawasan pemandaran telah mempengaruhi suhu tempatan Pulau Pinang dengan kuat. Jadi, suhu minimum dan min meningkat dengan ketara pada kadar 1.2 °C/dekad dan 0.3 °C/dekad, masing-masing.

Hasil analisis ini secara umumnya konsisten dengan kajian yang dijalankan oleh Tan et al. (2010) di mana kawasan binaan di Pulau Pinang menunjukkan korelasi yang signifikan pada tahun 1999 (0.661) dan pada tahun 2007 (0.724) dengan suhu permukaan tanah. Berdasarkan Jadual 5 dan 6, hanya kawasan binaan mempunyai korelasi kuat yang signifikan dengan indeks suhu, T_{min} dan T_{mean} berbanding kelas guna tanah yang lain. Korelasi negatif dicatatkan antara data iklim dan kawasan pertanian dan tanah hutan. Tan et al (2010), juga menyebut dalam kajian mereka bahawa kawasan hutan di Pulau Pinang mempunyai pekali korelasi negatif yang paling besar, -0.81 pada tahun 1999 dan -0.84 pada tahun 2007. Badan air mempunyai hubungan yang positif dengan data iklim dan mempunyai hubungan yang signifikan dengan T_{min} . Tambahan pula, Rajah 8 juga menunjukkan bahawa kebanyakan kawasan bandar mencatatkan suhu maksimum. Jadi, boleh dikatakan pemandaran menjadi antara faktor peningkatan suhu di Pulau Pinang. Hal ini

dikatakan demikian kerana, faktor yang sama yang turut menyebabkan kenaikan suhu di bandar Beijing, China. Zhang et al. (2022), melaporkan bahawa pembangunan telah mengakibatkan peningkatan dalam pencemaran udara, kesesakan lalu lintas, penggunaan tenaga industri, pemanasan domestik, dan pengurangan dalam tanah hijau serta permukaan air telah ditunjukkan bahawa pembangunan bandar mengubah keadaan terma bandar dalam pelbagai cara, menjejaskan suhu tempatan. Kebanyakan penyelidikan mendedahkan bahawa suhu Beijing telah meningkat dengan ketara sepanjang setengah abad yang lalu (Wang et al., 2014). Kim et al. (2022) juga menyatakan dalam kajian mereka bahawa kawasan bandar mempunyai pengaruh yang kuat dalam meningkatkan suhu permukaan dan penukaran kawasan bandar kepada kawasan hijau mampu mengurangkan suhu.

Oleh itu, boleh membuat kesimpulan bahawa terdapat hubungan yang kuat dan signifikan antara pengembangan bandar dan trend suhu jangka panjang namun terdapat faktor lain juga yang mengakibatkan peningkatan suhu di bahagian pulau. Hal ini dikatakan demikian kerana, sekiranya dilihat secara teliti pada dapatan kajian, didapati bahawa perkembangan kawasan binaan menjadi perlahan sejak tahun 2008 hingga ke 2015, namun suhu T_{min}, T_{max} dan T_{mean} masih menunjukkan trend meningkat. Imej satelit pada Rajah 8, juga menunjukkan bahawa suhu yang dicatatkan pada tahun 2008 adalah rendah berbanding 2015. Oleh itu, boleh dikatakan bahawa walaupun pengembangan kawasan bandar mengakibatkan peningkatan suhu, namun terdapat faktor lain juga yang menyumbang kepada isu ini. Oleh itu, dapat dikatakan bahawa, kenaikan suhu di bahagian pulau, Pulau Pinang bukannya hanya disebabkan oleh perubahan guna tanah, malah terdapat juga sebab-sebab lain seperti faktor perubahan iklim dunia. Menurut laporan 'Penang Green Council', Panel Antara Kerajaan tentang Perubahan Iklim (IPCC) mengatakan bahawa dunia akan mengalami peningkatan suhu sebanyak 2-3 °C menjelang akhir abad akibat daripada perubahan iklim yang kritikal. Oleh itu, diramalkan bahawa Pulau Pinang akan mengalami gelombang haba di mana lebih daripada 240 hari dalam setahun, suhunya akan mencecah 35 °C menjelang tahun 2050 (Othman et al., 2021).

Jadual 5. Analisis korelasi bagi guna tanah dan data hujan

Kelas guna tanah	Pertanian	Binaan	Hutan	Badan air
Hujan	-0.40	0.39	-0.07	0.71
T _{max}	-0.41	0.68	-0.70	0.40
T _{min}	-0.74	0.91	-0.52	0.95
T _{mean}	-0.60	0.86	0.92	0.61

Jadual 6. Analisis signifikan bagi korelasi guna tanah dan data hujan

Kelas guna tanah	Pertanian	Binaan	Hutan	Badan air
Hujan	0.43	0.44	0.90	0.12
T _{max}	0.41	0.14	0.12	0.44
T _{min}	0.09	0.01	0.29	0.00
T _{mean}	0.19	0.02	0.11	0.18

Kesimpulan

Kajian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara suhu dan pengembangan bandar di Pulau Pinang. Keputusan menunjukkan Pulau Pinang mengalami peluasan bandar yang drastik dari tahun 1966 hingga 2015. Kadar keseluruhan perluasan kawasan bandar bagi bahagian pulau, Pulau

Pinang dari tahun 1966 hingga 2015 adalah 134.22%. Perbandaran yang pesat berlaku terutamanya di bahagian timur Pulau Pinang. Kawasan bandar diperluaskan secara drastik berbanding kelas guna tanah yang lain seperti tanah pertanian. Aliran suhu keseluruhan (T_{min} , T_{max} , dan T_{mean}) bagi Pulau Pinang menunjukkan trend peningkatan yang ketara pada tahap keertian 0.001 dari tahun 1980 hingga 2018 kecuali hujan yang menunjukkan aliran meningkat tetapi tidak ketara. T_{max} , T_{min} dan T_{mean} meningkat dengan ketara pada kadar 0.19 °C/dekad, 1.2 °C/dekad dan 0.3 °C/dekad, masing-masing. Berbanding dengan T_{max} (0.19 °C/dekad) dan T_{mean} (0.3 °C/dekad), T_{min} menunjukkan anjakan magnitud 1.2 °C/dekad. Terdapat hubungan kuat yang signifikan dicatatkan antara perkembangan bandar dan trend suhu. T_{min} dan T_{mean} telah meningkat dengan ketara pada kadar 1.2 °C/dekad dan 0.3 °C/dekad, masing-masing. Imej satelit yang diproses juga menunjukkan peningkatan suhu sejak tahun 1984 hingga 2015, namun masih terdapat sedikit penurunan dari segi suhu inimum dan maksimum pada tahun 2008. Hal ini bermakna, peningkatan dalam kawasan tanah bandar juga menyumbang kepada peningkatan suhu Pulau Pinang. Namun, pembangunan kawasan binaan menjadi perlahan sejak tahun 2008 sehingga 2015 dan catatan rekod suhu menunjukkan kenaikan yang drastik. Perubahan iklim dunia juga boleh menjadi penyebab kepada kenaikan suhu Pulau Pinang. Dapatan kajian ini boleh digunakan sebagai maklumat penting untuk membuat keputusan dalam pengurusan tanah dan membuat dasar bagi mencapai matlamat untuk menjadi sebuah bandar raya yang mampan menjelang 2030. Kerajaan Pulau Pinang perlulah menggalakkan pihak berkuasa dan rakyat mereka untuk melakukan 'Green Roofing'. Bumbung hijau yang sering dikenali sebagai bumbung taman, adalah teknik yang agak baru yang membantu mengurangkan pulau haba bandar. Bumbung hijau ialah kawasan hijau yang dibina di atas struktur bumbung biasa dengan melapiskan media pertumbuhan dan tumbuhan. Tumbuhan adalah salah satu komponen terpenting dalam bandar yang mampan. Kaedah penyesuaian ini akan menjadi salah satu cara yang berkesan untuk mengurangkan haba bandar bagi mencapai matlamat untuk menjadi bandar lestari menjelang tahun 2030.

Rujukan

- Ahmad, F., Yahaya, A. S., Farooqi, M. A., & Tebal, N. (2006). Characterization and geotechnical properties of Penang residual soils with emphasis on landslides. *American Journal of Environmental Sciences*, 2(4), 121–128.
- Akomolafe, G. F., & Rosazlina, R. (2022). Land use and land cover changes influence the land surface temperature and vegetation in Penang Island, Peninsular Malaysia. *Scientific Reports*, 12, 21250. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25560-0>
- Balasubramanian, P. A. (2006). Categories of land use. Country-wide Class room Educational TV programme-Gyan Darshan, MYSORE, University of Mysore. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22403.09763>
- Bronselaer, B., Winton, M., Griffies, S. M., Hurlin, W. J., Rodgers, K. B., Sergienko, O. V., Stouffer, R. J., & Russell, J. L. (2018). Change in future climate due to Antarctic meltwater. *Nature*, 564(7734), 53–58. <https://doi.org/10.1038/S41586-018-0712-Z>
- Brook, T. (2015). Temperature and precipitation extremes. In Brook, T. *The Troubled Empire: China in the Yuan and Ming Dynasties* (pp. 269–269). Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/9780674056206-012>
- Chen, L., Ren, C., Zhang, B., Wang, Z., & Liu, M. (2018). Quantifying urban land sprawl and its driving forces in Northeast China from 1990 to 2015. *Sustainability*, 10(1), 188.

- <https://doi.org/10.3390/su10010188>
- Hanafiah, A. (2019). Urban Heat Island Island phenomenon in Penang Island, Malaysia. *Journal of Advance Research in Applied Science*, 6(7), 1–13.
- Hong, C. W., Chan, N. W., & Mohamed, B. (2013). Ancaman dan Cabaran Dalam Pembangunan Lestari Taman Negara di Pulau Pinang. Prosiding Seminar Serantau Ke-2: Pengurusan Persekitaran Di Alam Melayu, 6-7 Mei, Pekanbaru, Indonesia.
- IPCC. (2018). Global Warming of 1.5 °C. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- James Clark. (2018, April 9). Future Penang – current and proposed construction projects in Penang. *Future Southeast Asia*. Retrieved from <https://futuresoutheastasia.com/future-penang/>
- Jamil, M. S., Ul-Saufie, A. Z., Abu Bakar, A. A., Ali, K. A. M., & Ahmat, H. (2019). Identification of source contributions to air pollution in penang using factor analysis. *International Journal of Integrated Engineering*, 11(8), 221–228. <https://doi.org/10.30880/ijie.2019.11.08.022>
- Kafy, A. Al, Dey, N. N., Al Rakib, A., Rahaman, Z. A., Nasher, N. M. R., & Bhatt, A. (2021). Modeling the relationship between land use/land cover and land surface temperature in Dhaka, Bangladesh using CA-ANN algorithm. *Environmental Challenges*, 4, 100190. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100190>
- Kemarau, R. A., & Eboy, O. V. (2021). The Impact of El Niño–Southern Oscillation (ENSO) on temperature: A case study in Kuching, Sarawak. *Malaysian Journal of Social Science and Humanities (MJSSH)*, 6(1), 289–297. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v6i1.602>
- Kim, M., Kim, D., & Kim, G. (2022). Examining the relationship between Land Use / Land Cover (LULC) and Land Surface Temperature (LST) using Explainable Artificial Intelligence (XAI) models: A case study of Seoul , South Korea. *Environmental Research and Public Health*, 19(15926), 1–16.
- Liew, J. X. (2020, October 19). *On track heights to scale new*. *TheStar*. Retrieved from <https://www.thestar.com.my/metro/metro-news/2020/10/19/on-track-heights-to-scale-new>
- Mohammed, K. S., Elhadary, Y., Samat, N., & Omar, N. Q. (2015). GIS and remote sensing techniques for measuring agriculture land loss in Balik Pulau region of Penang state, Malaysia. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 5(2), 30-41.
- OECD. (2011). State of Penang, Malaysia.
- Othman, M., Ahrasan, N., & Thung, T. (2021). Report on climate change impacts in Penang. Retrieved from <https://pgc.com.my/2020/wp-content/uploads/2021/04/Executive-Summary.pdf>
- Perbadanan Bekalan Air (PBA). (2020). Penang dams & effective capacity - Perbadanan Bekalan Air Pulau Pinang. Retrieved from <https://pba.com.my/penang-dams-effective-capacity/>
- Penang Global Tourism. (2019). myPenang. Retrieved from <https://www.mypenang.gov.my/natureadventure/directory/50/?lg=en>
- Samat, N., Mahamud, M. A., Tan, M. L., Tilaki, M. J. M., & Tew, Y. L. (2020). Modelling land cover changes in Peri-urban areas: A case study of george town conurbation, Malaysia. *Land*, 9(10), 1–16. <https://doi.org/10.3390/land9100373>
- Schober, P., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia and Analgesia*, 126(5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Tan, K. C., Lim, H. S., MatJafri, M. Z., & Abdullah, K. (2010). Landsat data to evaluate urban

- expansion and determine land use/land cover changes in Penang Island, Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, 60(7), 1509–1521. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0286-z>
- Tan, M. L., Juneng, L., Tangang, F. T., Chung, J. X., & Radin Firdaus, R. B. (2020). Changes in temperature extremes and their relationship with ENSO in Malaysia from 1985 to 2018. *International Journal of Climatology*, 41(S1), E2564–E2580. <https://doi.org/10.1002/joc.6864>
- Tan, M. L., Zhang, F., Derek, C. J. C., Yu, K. H., Shaharudin, S. M., Chan, N. W., & Asyirah, A. R. (2022). Spatio-temporal analysis of precipitation, temperature and drought from 1985 to 2020 in Penang, Malaysia. *Water Supply*, 22(5), 4757–4768. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.140>
- Tangang, F. T., Juneng, L., & Ahmad, S. (2007). Trend and interannual variability of temperature in Malaysia: 1961-2002. *Theoretical and Applied Climatology*, 89(3–4), 127–141. <https://doi.org/10.1007/s00704-006-0263-3>
- Tew, Y. L., Tan, M. L., Samat, N., & Yang, X. (2019). Urban expansion analysis using Landsat images in Penang, Malaysia. *Sains Malaysiana*, 48(11), 2307–2315. <https://doi.org/10.17576/jsm-2019-4811-02>
- Wang, Y., Ji, W., Yu, X., Xu, X., Jiang, D., Wang, Z., & Zhuang, D. (2014). The impact of urbanization on the annual average temperature of the past 60 years in Beijing. *Advances in Meteorology*, 2014(1), 374987. <https://doi.org/10.1155/2014/374987>
- Weng, Q. (2001). A remote sensing? GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, 22(10), 1999–2014. <https://doi.org/10.1080/713860788>
- Zhang, L., You, S., Zhang, M., Zhang, S., Yi, S., & Zhou, B. (2022). The effects of urbanization on air pollution based on a spatial perspective: Evidence from China. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1058009. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1058009>
- Zhao, L., Wong, W. Bin, & Hanafi, Z. Bin. (2019). The evolution of George Town's urban morphology in the Straits of Malacca, late 18th century-early 21st century. *Frontiers of Architectural Research*, 8(4), 513–534. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.09.001>